

日本海北部における 海氷生産量と高密度水生成量の見積もり

二橋 創平¹, 大島 慶一郎², 齊藤 誠一³

¹ 苫小牧工業高等専門学校 機械工学科

² 北海道大学 低温科学研究所

³ 北海道大学大学院 水産科学研究院

Estimation of ice production and dense water formation in the northern Japan Sea

Sohey Nihashi¹ and Kay I. Ohshima² Sei-ichi Saitoh³

¹ *Department of Mechanical Engineering, Tomakomai National College of Technology*

² *Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University*

³ *Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University*

Sea-ice production in the northern Japan Sea is estimated based on heat flux calculation using thin ice thickness estimated from AMSR-E brightness temperatures (TBs). The thin ice thickness algorithm is developed from comparisons between the polarization ratio of AMSR-E TBs and ice thickness. The ice thickness for the comparison is estimated based on heat flux calculation using ice surface temperatures derived from cloud-free AVHRR infrared images. The annual ice production averaged over 2002/03–2010/11 with its annual standard deviation is estimated to be $0.69 \pm 0.11 \times 10^{11} \text{ m}^3$. Dense water formation in this area is also estimated using the ice production. The heat loss to the atmosphere which determines the ice production and dense water formation is mainly determined by the surface air temperature. The annual ice production estimated in this study is about three times larger than that in the previous study in which ice concentration by SSM/I was used. The result of this study suggests that sea-ice formation in the northern Japan Sea can play an important role in the dense water formation in the Japan Sea.

1. はじめに

日本海（図1a）の深層には、低温で高酸素の日本海固有水が存在する（Uda, 1934; Yasui et al., 1967）。日本海と周辺の海洋は浅い（<150m）海峡で隔たれているため、固有水は日本海の何処かで形成され沈み込んでいると考えられている。これまでの研究から、ウラジオストク沖がその有力な候補海域であることが示唆されている（Sudo, 1986; Senju and Sudo, 1994; Seung and Yoon, 1995; Kawamura and Wu, 1998）。日本海では冬季、主に北部の間宮海峡域で海氷域が形成される（図1a）。この海氷域には、沿岸ポリニヤ（薄氷域）が形成される（Martin et al., 1992）。沿岸ポリニヤでは、膨大な量の熱が大気に奪われ盛んに海水が生産されることにより、中・底層水の起源である高密度水が形成される。日本海でも、高密度水が結氷に伴い形成され、深層に沈み込んでいることが示唆されている（Martin et al., 1992; Riser et al., 1999; Tally et al., 2003; Postlethwaite et al., 2005）。この海域における海水生産量の見積もりは、これまで人工衛星による海水密度（単位面積あたりに占める海水の割合）を用いたもの（Martin et al., 1992）が唯一のものであり、大気–海洋間の熱フラックスに大きな影響を与える薄氷厚は考慮されていなかった。ポリニヤは時間的・空間的に大きく変動するので、できる限り高分解能のデータで調べる必要がある。そこで本研究では、天気や時間に左右されないマイクロ波放射計による人工衛星データのなかで、最も分解能が高い AMSR-E の輝度温度からポリニヤ域の検出とそこでの薄氷厚を推定するアルゴリズムを間宮海峡域で開発し、その氷厚を用いた熱収支計算から、海水生産量と高密度水生成量を見積もった。さらに、気象条件との比較を行い、どのパラメータが海水生産量を決めているかを調べた。

2. データと解析方法

AMSR-E 薄氷厚アルゴリズムの開発は、輝度温度の偏波比と、雲のない AVHRR 赤外線画像を用いた熱収支計算から見積られた氷厚との比較から行った。海水生産量を見積もるための熱収支計算は、AMSR-E による薄氷厚データ（空間分解能は約 6 km）と、ERA-interim による表面の気温、露点温度、風速、雲量（1.5 度格子）を用いて 1 日毎に行った。気象データは、ガウス関数で重みをかけ、AMSR-E 氷厚のグリッドに内挿した。大気-海水間の熱収支は、日本海において最も適当と考えられる経験式ならびにバルク式を使用して求めた短波放射、長波放射、顕熱フラックス、潜熱フラックスの和に、海水内の熱伝導フラックスを考慮して求めた。水温は結氷点と仮定し、海洋下層からの熱は無視出来ると仮定した。海水生産量は、薄氷（ ≤ 0.2 m）のグリッドにおいて、熱損失は全て海水生産に使われるものと仮定して見積もった。高密度水生成量は、まず海水生産量から海洋に排出される塩フラックスを求め、高密度化前後の塩分収支から見積もった。解析は 2002/2003–2010/2011 年の 9 年間分の冬期間（12 月から 3 月）で行った。

3. 解析結果

冬期間で累計した海水生産量のマッピング（図 1 b）から、特に間宮海峡域の最北部で盛んに海水が生成されることが示された。これは卓越する北寄りの風によって沿岸ポリニヤが形成されるためである。冬期間の累計海水生産量の 9 年間分の平均値と年毎の標準偏差は、 $0.69 \pm 0.11 \times 10^{11} \text{ m}^3$ と見積もられた。この値は従来の見積もり（Martin et al., 1992）より約 2.7 倍も大きい。これはこれまでの研究が薄氷厚を考慮していなかったためと、本研究が空間分解能の良い（面積で見ると従来の 4 倍）AMSR-E データを用いたためである。ERA-interim による日毎の気象データを用いた解析から、海水生産量と高密度水生成量を決める大気への heat loss は、主に気温で決まっていることが示された。これまでの研究と同様に、結氷前の海水の塩分を 33.2、高密度水の塩分を 34.1 と仮定した場合、冬期間に形成される高密度水は平均で約 $1.54 \times 10^{12} \text{ m}^3$ と見積もられた。これは、放射性炭素年代測定から見積もられた、日本海底層水の renewal rate である約 $1.3 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ (Gamo and Horibe, 1983) に匹敵する。本研究の結果は、日本海の高密度水形成に対する海水の役割を再認識する必要があることを示唆する。

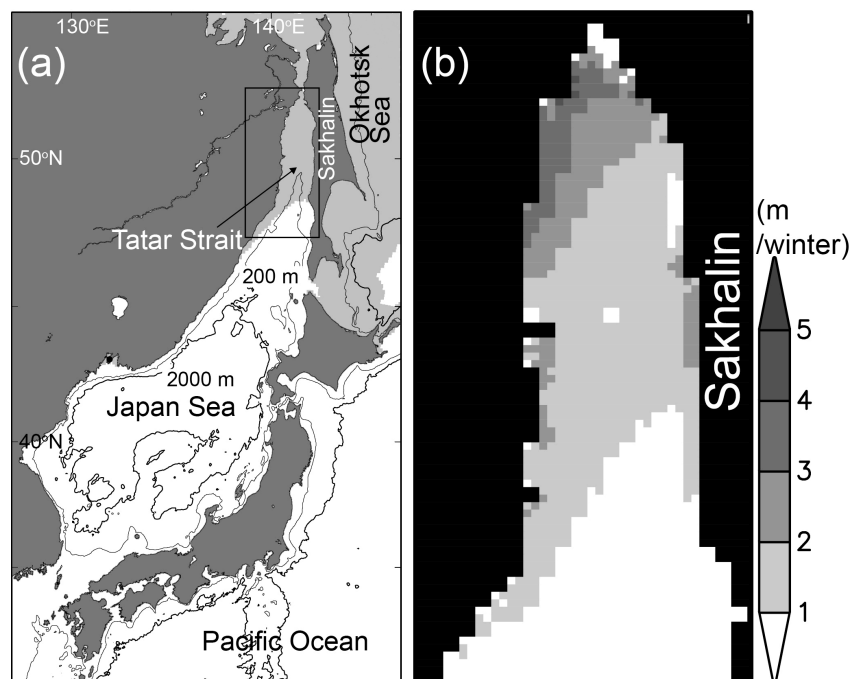


図 1 (a) 日本海とその周辺海域。2 月の海氷域の気候値を薄い灰色で、本研究の対象海域である間宮海峡域を四角で囲んで示す。(b) 間宮海峡域における冬期間（12 月から 3 月）の累計海水生産量の気候値（2002/2003–2010/2011）。